

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

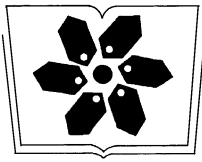
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第2期 Vol.33 No.2 **2013**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 2 期 2013 年 1 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 岩溶山区水分时空异质性及植物适应机理研究进展..... 陈洪松, 聂云鹏, 王克林 (317)
- 红树林植被对大型底栖动物群落的影响 陈光程, 余 丹, 叶 勇, 等 (327)
- 淡水湖泊生态系统中砷的赋存与转化行为研究进展..... 张 楠, 韦朝阳, 杨林生 (337)
- 纳米二次离子质谱技术(NanoSIMS)在微生物生态学研究中的应用 胡行伟, 张丽梅, 贺纪正 (348)
- 城市系统碳循环: 特征、机理与理论框架 赵荣钦, 黄贤金 (358)
- 城市温室气体排放清单编制研究进展..... 李 晴, 唐立娜, 石龙宇 (367)

个体与基础生态

- 科尔沁沙地家榆林的种子散布及幼苗更新..... 杨允菲, 白云鹏, 李建东 (374)
- 环境因子对木棉种子萌发的影响 郑艳玲, 马焕成, Scheller Robert, 等 (382)
- 五花米草与短叶荳蔻落物分解过程中碳氮磷化学计量学特征 欧阳林梅, 王 纯, 王维奇, 等 (389)
- 性别、季节和体型大小对吐鲁番沙虎巢域的影响 李文蓉, 宋玉成, 时 磊 (395)
- 遮蔽行为对海刺猬摄食、生长和性腺性状的影响..... 罗世滨, 常亚青, 赵 冲, 等 (402)
- 水稻和玉米苗上饲养的稻纵卷叶螟对温度的反应 廖怀建, 黄建荣, 方源松, 等 (409)

种群、群落和生态系统

- 亚热带不同林分土壤表层有机碳组成及其稳定性 商素云, 姜培坤, 宋照亮, 等 (416)
- 禁牧条件下不同类型草地群落结构特征 张鹏莉 陈 俊 崔树娟, 等 (425)
- 高寒退化草地狼毒与赖草种群空间格局及竞争关系 任 珩, 赵成章 (435)
- 小兴安岭 4 种典型阔叶红松林土壤有机碳分解特性 宋 媛, 赵溪竹, 毛子军, 等 (443)
- 新疆富蕴地震断裂带植被恢复对土壤古菌群落的影响 林 青, 曾 军, 张 涛, 等 (454)
- 长期施肥对紫色土农田土壤动物群落的影响 朱新玉, 董志新, 况福虹, 等 (464)
- 潮虫消耗木本植物凋落物的可选择性试验 刘 燕, 廖允成 (475)
- 象山港网箱养殖对近海沉积物细菌群落的影响 裘琼芬, 张德民, 叶仙森, 等 (483)
- 2005 年夏季东太平洋中国多金属结核区小型底栖生物研究 王小谷, 周亚东, 张东声, 等 (492)
- 川西亚高山典型森林生态系统截留水文效应 孙向阳, 王根绪, 吴 勇, 等 (501)

景观、区域和全球生态

- 中国水稻生产对历史气候变化的敏感性和脆弱性 熊 伟, 杨 婕, 吴文斌, 等 (509)
- 1961—2005 年东北地区气温和降水变化趋势 贺 伟, 布仁仓, 熊在平, 等 (519)
- 地表太阳辐射减弱和臭氧浓度增加对冬小麦生长和产量的影响 郑有飞, 胡会芳, 吴荣军, 等 (532)

资源与产业生态

- 基于环境卫星数据的黄河湿地植被生物量反演研究 高明亮, 赵文吉, 官兆宁, 等 (542)
- 黄土高原南麓县域耕地土壤速效养分时空变异 陈 涛, 常庆瑞, 刘 京, 等 (554)

不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响..... 武 际,郭熙盛,鲁剑巍,等 (565)

施氮时期对高产夏玉米光合特性的影响 吕 鹏,张吉旺,刘 伟,等 (576)

城乡与社会生态

城市景观组分影响水质退化的阈值研究 刘珍环,李正国,杨 鹏,等 (586)

长株潭地区生态可持续性 戴亚南,贺新光 (595)

外源 NO 对镉胁迫下水稻幼苗抗氧化系统和微量元素积累的影响 朱涵毅,陈益军,劳佳丽,等 (603)

达里诺尔湖沉积物中无机碳的形态组成 孙园园,何 江,吕昌伟,等 (610)

绿洲土 Cd、Pb、Zn、Ni 复合污染下重金属的形态特征和生物有效性 武文飞,南忠仁,王胜利,等 (619)

柠檬酸和 EDTA 对铜污染土壤环境中吊兰生长的影响 汪楠楠,胡 珊,吴 丹,等 (631)

研究简报

海州湾生态系统服务价值评估 张秀英,钟太洋,黄贤金,等 (640)

内蒙古羊草群落、功能群、物种变化及其与气候的关系 谭丽萍,周广胜 (650)

氮磷供给比例对长白落叶松苗木磷素吸收和利用效率的影响 魏红旭,徐程扬,马履一,等 (659)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 352 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 38 * 2013-01



封面图说: 科尔沁沙地榆树——榆树疏林草原属温带典型草原地带,适应半干旱半湿润气候的隐域性沙地顶级植物群落,具有极强的适应性、稳定性,生物产量较高。在我国仅见于科尔沁沙地和浑善达克沙地。是防风固沙、保护沙区生态环境和周边土地资源的一种重要的植物群落类型,是耐旱沙生植物的重要物种基因库和荒漠野生动物的重要避难所和栖息地。这些年来,由于人类毁林开荒、过度放牧、甚至片面地建立人工林群落等的干扰,不同程度地破坏了榆树疏林的生态环境,影响了其特有的生态作用。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201111171749

林青, 曾军, 张涛, 马晶, 王重, 娄恺. 新疆富蕴地震断裂带植被恢复对土壤古菌群落的影响. 生态学报, 2013, 33(2): 0454-0463.

Lin Q, Zeng J, Zhang T, Ma J, Wang Z, Lou K. The influence of vegetation restoration on soil archaeal communities in Fuyun earthquake fault zone of Xinjiang. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(2): 0454-0463.

新疆富蕴地震断裂带植被恢复对土壤古菌群落的影响

林 青^{1,2}, 曾 军¹, 张 涛¹, 马 晶^{1,2}, 王 重¹, 娄 恺^{1,*}

(1. 新疆农业科学院微生物应用研究所, 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆大学生命科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046)

摘要:选取新疆富蕴地震断裂带 8 种次生植物根际土壤, 以同土层裸地为对照, 测量土壤化学性质, 利用末端限制性片段长度多态性技术研究塌陷区次生植物对土壤古菌群落的影响。结果表明, 多数植物根际土壤养分显著 ($P < 0.05$) 高于对照, 其主要古菌类群为泉古菌门 (Crenarchaeota) 和广古菌门 (Euryarchaeota), 群落间多样性差异大, 相似性低。不同植物根际土壤古菌的优势类群数量差异较大, 鼠掌老鹳草高达 18 种, 西北绢蒿少为 2 种。典范对应分析表明, 土壤有机质含量对古菌优势类群分布影响最大 (Hha I 酶切: $r = 0.94$; Rsa I 酶切: $r = 0.74$), 速效磷含量与古菌群落各多样性指数呈显著正相关 ($P < 0.05$), 总氮含量与均匀度指数 E 呈显著正相关 ($P < 0.05$)。新疆地震断裂带植被的恢复可影响根际土壤古菌群落的分布、组成和结构, 其原因与植物根际土壤化学性质有关, 同时在改善土壤肥力方面也有显著效果。

关键词:地震断裂带; 根际微生物; 末端限制性片段长度多态性

The influence of vegetation restoration on soil archaeal communities in Fuyun earthquake fault zone of Xinjiang

LIN Qing^{1,2}, ZENG Jun¹, ZHANG Tao¹, MA Jing^{1,2}, WANG Zhong¹, LOU Kai^{1,*}

1 Institute of Microbiology, Xinjiang Academy of Agriculture Science, Urumqi 830091, China

2 College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

Abstract: Strong earthquake could cause a variety of secondary geological disasters, and severely damage ecological environment. After earthquake, the vulnerable and sensitive ecosystems are going through a series of vegetation restoration and soil succession. Of this, vegetation recovery was regarded as the core of reconstruction of ecological restoration. However, the current research mainly focused on the investigation, recovery and reconstruction of the ecosystem damage from a macro perspective. Research in regard to the relationship between vegetation and soil microbial was rarely reported. Fuyun earthquake fault zone is located in Fuyun county of Altay in Xinjiang, which was caused by a serious earthquake of 8 scales on August 11, 1931 and formed a 176 km long rift. It was one of the rare earthquake fault zones in the world. The aim of this study therefore was to investigate the effect of secondary plants on soil archaeal communities in the secondary barren of Fuyun seismic fault zone in Xinjiang. In a 300×30m range (collapse region was long and narrow), 8 different plants were selected as dominant plant species after investigation. They were *Salix viciifolia*, *Salix rectijulis*, *Eremopyrum orientale*, *Seriphidium nitrosum*, *Geranium sibiricum*, *Spiraea media*, *Galium verum* and *Rosa spinosissima*. The rhizosphere soils collected from the 8 different plants were studied by testing soil chemical properties (mainly include soil organic matter, pH, total nitrogen, available nitrogen, available phosphorus and available potassium) and soil archaeal community structures were surveyed by employing Terminal restriction fragment length polymorphism (T-RFLP). Unplanted soil in the

基金项目: 新疆特殊环境微生物实验室开放课题 (XJYS0203-2010-08)

收稿日期: 2011-11-17; 修订日期: 2012-02-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: loukai02@mail.tsinghua.edu.cn

same depth served as control. The results showed that the soil in study site was alkaline ($\text{pH}=8.28-8.51$). The soil nutrient contents in *Eremopyrum orientale*'s rhizosphere were generally higher compared with other plant. There were great differences in soil nutrient content among samples, but the overall trend was the nutrients in most plants' rhizosphere soil was significantly ($P<0.05$) higher than control. Archaeal 16S rDNA fragments could be amplified only in the rhizosphere soils. The diversity indices (include richness, Shannon-Weiner index, Simpson index and evenness) were vary with different enzymes digestion. The similarities of archaeal communities calculated by the Sorensen formula were low among different rhizosphere soils and most numerous were in *Geranium sibiricum*'s rhizosphere with 18 species and minimum were in *Seriphidium nitrosum* with 2 species. Crenarchaeota and Euryarchaeota were the main possible archaeal groups identified by MiCA (Microbial Community Analysis) online analysis. Canonical correspondence analysis (CCA) showed that soil organic matter, available phosphorus, total nitrogen and pH can significantly affect the archaeal communities. Especially soil organic matter had the greatest impact on the distribution of dominant archaeal groups (*Hha* I digestion: $r=0.94$; *Rsa* I digestion: $r=0.74$). Correlation analysis showed that soil available phosphorus content was positively correlated with all diversity indices of archaeal communities ($P<0.05$), and total nitrogen content showed a significant positive correlation ($P<0.05$) to the evenness index in *Hha* I digestion. These results indicated that recovery of vegetation not only could affect archaeal communities' composition, structure and distribution in earthquake fault zone of Xinjiang, but also could improve the soil fertility and possible reasons were related to rhizosphere's chemical properties.

Key Words: seismic fault zone; rhizosphere microorganisms; terminal restriction fragment length polymorphism

地震引发的各种次生地质灾害,造成景观破碎,土壤结构破坏,土壤微生物平衡体系发生改变,使震区生态系统变得脆弱、敏感,严重破坏当地生态环境^[1-2]。1931年8月11日,发生于新疆阿勒泰富蕴县境内的8.0级大地震,形成了一条长达176 km、世界罕见的地震断裂带^[3],严重破坏了原有植被和表层土壤,形成大面积次生裸地,震后至今,随着植物次生演替,震区生态进入自然恢复过程。恢复生态学认为,植被恢复是恢复退化生态系统的首要问题,因为它几乎是所有自然生态系统恢复的前提^[4]。

其它退化生态系统研究表明,植物与土壤微生物关系密切:植物物种组成、群落结构及不同演替阶段影响根际土壤微生物分布、酶活、微生物碳、氮含量等^[5-7],而土壤微生物通过竞争、协调、驱动养分循环等作用影响着植物多样性^[8]。可见,植被恢复与土壤微生物紧密相关,它们维系着生态系统的稳定和健康。然而目前对震后生态研究多集中于森林、水体、农业等宏观系统受损的调查与恢复^[2,9],微观的土壤微生物国内外未见报道。随着分子生物学的发展,古菌的分布与研究范围已从狭隘的极端环境,发展到海洋、湖泊、土壤等非极端环境,同时由古菌介导的有机碳降解转化,甲烷生成氧化,氨氧化等对全球碳、氮循环起重要作用^[10]。为此本文利用末端限制性片段长度多态性(Terminal restriction fragment length polymorphism, T-RFLP)技术,对新疆富蕴地震断裂带次生植物根际土壤的古菌群落进行分析,为探究震后植被恢复与土壤微生物的关系提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 供试地概况及样品采集

富蕴地震断裂带高烈度区(X—XI度)位于卡拉先格尔一带,此处基岩崩裂破碎,地震断裂纵横交错,山体两侧滚石遍布,山体大面积滑塌,在山腰处形成长1500 m,水平跨度350 m,滑塌面最大高度达63 m的塌陷区^[11]。观测塌陷土壤剖面,塌陷区内无表土层及心土层只剩底土层,形成贫瘠的次生裸地。震后至今虽有草本、灌木植物于区内生长,但由于大部分滑塌面几乎与水平垂直,植物难以附着,种群密度稀疏且零星分布,大面积仍为裸地,又因地处山区人迹罕至,植物间与采样环境基本无干扰。

2009年8月(植物生长旺季)在塌陷区(北纬 $46^{\circ}44'25''$,东经 $89^{\circ}54'15''$,海拔1901 m)进行采样。经植物调查,裸地共有13种草本及灌木植物生长,群落演替至灌木阶段,在300 m $\times$ 30 m(滑塌面呈狭长型)可攀爬范

围,选取草本、灌木优势植物各 4 种,东方旱麦草(*Eremopyrum orientale*),西北绢蒿(*Seriphidium nitrosum*),鼠掌老鹳草(*Geranium sibiricum*),蓬子菜(*Galium verum*)(草本),皱纹柳(*Salix vistita*),直穗柳(*Salix rectijulis*)欧亚绣线菊(*Spiraea media*),密刺蔷薇(*Rosa spinosissima*)(灌木)。采集其根际土壤,因土壤呈砂质,极易散落,无法附着于根系,故除去表层 1 cm 土壤后,在 0—20 cm 深度采用内径为 5 cm 的土壤取样器,以植物根系为轴心钻取根围 2.5 cm 范围内土壤,每株植物取上中下 3 层土壤混匀作为根际土壤^[12],无植物生长的同土层土壤,随机取样 3 次混匀作为对照。样品分别装入无菌自封袋,放入车载冰箱 4 °C 保存运回实验室。将土样除砂石及植物残体,混匀,过 2 mm 筛,分成两份,一份用于提取土壤基因组 DNA,一份自然风干用于测定土壤化学性质。

1.2 土壤化学性质测定

土样主要化学性质依据土壤分析方法标准(DB65/T602)测定。pH 值采用 1:5 土水比电位测定法;有机质采用重铬酸钾氧化法测定;全氮采用凯氏法测定;速效氮采用碱解-扩散法测定;速效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;有效钾测定采用醋酸氨浸提-火焰光度法。每个土样重复 3 次。

1.3 土壤基因组 DNA 提取

称取 5.0 g 土壤样品,经脱腐处理^[13],采用 bead beating-SDS 结合法^[14-15]提取土壤总 DNA,用 0.8% 的低熔点琼脂糖凝胶电泳检测,OMEGA E. Z. N. A. TM Gel Extraction Kit 回收纯化。总 DNA 溶于 TE 溶液并于 -20 °C 储存。

1.4 土壤古菌 PCR 扩增

选用古菌 16SrDNA 通用引物(21F:5'-TTCCGGTTGATCCYGCCGGA-3',5'端用 TET 荧光标记的 958R:5'-YCCGGCGTTGAVTCCAATT-3',)进行扩增。PCR 扩增反应体系:premix 15 μL,10 μmol/L 引物各 0.15 μL,DNA 模板 0.5 μL(约 10 ng),0.1% BSA 7.5 μL,25 mmol/L MgCl₂ 1 μL,用无菌 ddH₂O 补足 30 μL 体积。PCR 条件采用 Touchdown 扩增:95 °C 预变性 4 min,94 °C 变性 30 s,59 °C 至 54 °C 退火 40 s,72 °C 延伸 90 s,每次循环降低 0.5 °C,10 次循环,94 °C 变性 30 s,54 °C 退火 40 s,72 °C 延伸 90 s,25 次循环,72 °C 延伸 7 min。每个样品做 3 个重复。1% 琼脂糖电泳检测。为避免 PCR 技术本身带来的偏差,并保证同等质量和数量的 PCR 产物进行酶切消化,参考 Zhang^[16]等人的方法,将 3 个重复 PCR 产物合并,用回收试剂盒 OMEGA E. Z. N. A. TM Gel Extraction Kit 纯化。

1.5 T-RFLP 分析

将纯化的 PCR 产物均分 2 份(各 13.2 μL)分别用 6 U 限制性内切酶 *Hha* I、*Rsa* I 进行酶切,37 °C 反应 3 h,65 °C 水浴 20 min 终止反应。2.5% 琼脂糖电泳检测。将酶切产物送至上海基康生物技术有限公司,进行毛细管电泳并使用 DNA 自动测序仪(ABI 3730 DNA Analyzer)检测。

1.6 数据处理

选取片段长度在 30—700 bp 的 T-RFs(Terminal Restriction Fragments),用公式 $Ap = n_i \cdot N^{-1} \times 100$ 计算相对峰面积。为避免电泳噪声对数据分析的干扰,本文将大于单个样品总面积 0.5% 的峰作为有效信号,并将片段大小相差 ±0.5 bp 的 T-RFs 认为是相同的。分别计算物种丰度 S ,即图谱中显著峰的总数,多样性指数 Shannon-Weiner 指数 H ,Simpson 指数 D ,物种均度 E ^[17]。公式如下:

$$H = - \sum p_i \times \ln p_i \quad (1)$$

$$D = 1 - \sum p_i^2 \quad (2)$$

$$E = H/H_{\max} \quad (3)$$

式中, P_i 表示某个峰的峰高占总峰高的比例, $H_{\max} = \ln S$ 。

根据 Sorensen 公式计算古菌群落间的相似性^[18]:

$$ISs = 2c/(a + b) \quad (4)$$

式中, c 是两个样品中共有的物种数量, a 和 b 分别代表 a 样品和 b 样品中物种的数量。

将相对峰面积大于 3% 总面积的 T-RFs 作为群落中的优势类群,进行群落成分差异分析,并在 MiCA (Microbial Community Analysis) 网站 (<http://mica. ibest. uidaho. edu/>) 在线 RDP 数据库中进行 T-RFs 的初步鉴定。用 CANNOCO 软件进行典范对应分析(CCA)分析。将优势类群各多样性指数与土壤化学性质参数做对数转换(pH 值除外),用 SPSS16.0 进行相关分析。

2 结果与分析

2.1 塌陷区植物根际土壤及裸地土壤化学性质

方差分析显示,不同植物根际土壤化学性质差异显著(表 1),根际土壤养分及 pH 值($\text{pH}=8.29\text{—}8.51$)多高于对照。东方旱麦草的各项养分含量普遍较高,西北绢蒿的根际土壤有机质、全氮、速效氮含量较高,速效磷含量较低。

表 1 不同植物根际土壤化学性质

Table 1 Chemical properties of the rhizospheric soils in different plants

样品 Sample	pH	有机质 SOM /(g/kg)	全 N Total N /(g/kg)	速效 N Available N /(mg/kg)	速效 P Available P /(mg/kg)	速效 K Available K /(mg/kg)
0	8.28±0.01 g	18.13±0.18 g	0.97±0.02 e	130.10±2.00 d	16.77±0.31 f	113.67±1.16 e
1	8.31±0.01 f	18.34±0.15 f	1.10±0.03 c	177.07±1.79 a	21.90±0.40 d	192.33±0.58 c
2	8.43±0.01 c	19.09±0.11 e	1.02±0.04 de	155.37±1.59 b	20.57±0.86 e	193.33±0.58 c
3	8.39±0.01 e	26.39±0.06 a	1.59±0.03 a	155.00±1.25 b	31.10±0.36 a	214.67±0.58 b
4	8.44±0.01 c	21.30±0.03 b	1.17±0.02 b	144.07±1.37 c	15.97±0.35 g	193.00±0.00 c
5	8.49±0.01 b	16.32±0.18 i	1.02±0.05 de	121.33±1.68 e	25.13±0.42 b	192.67±0.58 c
6	8.51±0.01 a	17.10±0.07 h	1.09±0.04 c	123.10±1.66 e	20.07±0.31 e	193.67±1.16 c
7	8.41±0.01 d	19.77±0.12 c	0.65±0.03 f	113.60±2.35 f	20.40±0.40 e	256.00±1.00 a
8	8.29±0.01 g	19.43±0.05 d	1.03±0.03 d	131.93±1.94 d	23.37±0.35 c	131.00±0.00 d

0:对照 control;1:皱纹柳 *Salix vityula*;2:直穗柳 *Salix rectijulis*;3:东方旱麦草 *Eremopyrum orientale*;4:西北绢蒿 *Seriphidium nitrosum*;5:鼠掌老鹳草 *Geranium sibiricum*;6:欧亚绣线菊 *Spiraea media*;7:蓬子菜 *Galium verum*;8:密刺蔷薇 *Rosa spinosissima*

2.2 塌陷区土壤古菌 16S rDNA 扩增

以纯化后的 DNA 为模板,PCR 扩增古菌 16S rDNA 基因,琼脂糖凝胶电泳检测,只有植物根际土壤扩增出约 900 bp 目的片段(图 1),对照土壤未扩增出目的条带。

2.3 塌陷区根际土壤古菌群落的 T-RFLP 分析

2.3.1 根际土壤古菌群落的多样性

用 *Rsa* I、*Hha* I 分别酶切 PCR 产物的结果并不完全一致(表 2)。以 *Rsa* I 酶切,欧亚绣线菊和密刺蔷薇根际古菌丰度和多样性最高,鼠掌老鹳草和欧亚绣线菊的优势度和均匀度较高;以 *Hha* I 酶切,东方旱麦草和鼠掌老鹳草古菌多样性指数较高。两种酶切,蓬子菜古菌丰度和多样性均最低。整体来看,*Rsa* I 能得到较多的 T-RFs。

2.3.2 根际土壤古菌群落的相似性

不同植物根际土壤间古菌群落组成具有较大差异(表 3)。以 *Rsa* I 酶切,8 种植物根际土壤古菌群落组

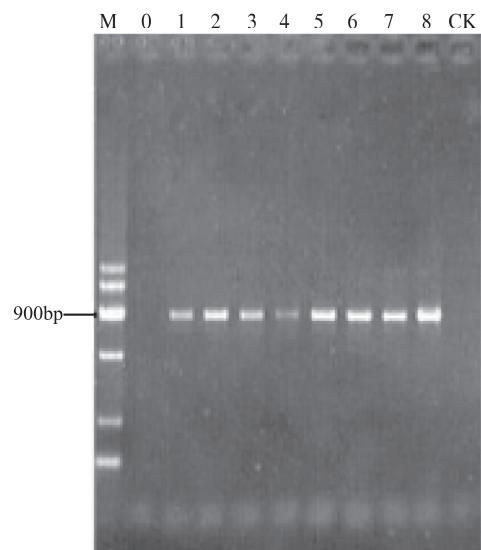


图 1 古菌 16S rDNA 片段电泳图

Fig. 1 The fragments of archaeal 16S rDNA

M:Marker;CK:阴性对照(negative control)

成相似性较低,在 0.04—0.33 之间;以 *Hha* I 酶切,密刺蔷薇和鼠掌老鹳草,西北绢蒿根际土壤古菌群落相似性较高,分别达 0.67 和 0.62,其它样品间相似性普遍较低。

表 2 不同植物根际古菌群落的多样性指数

Table 2 Diversity indices of archaeal communities in different rhizosphere soils

样品 Sample	<i>Rsa</i> I				<i>Hha</i> I			
	<i>S</i>	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>S</i>	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
1	25	2.74	0.88	0.85	18	1.42	0.53	0.49
2	27	2.72	0.90	0.83	16	1.33	0.53	0.48
3	27	2.77	0.91	0.84	30	2.67	0.86	0.78
4	24	1.82	0.70	0.57	21	1.57	0.58	0.52
5	22	2.98	0.94	0.96	30	2.42	0.80	0.71
6	51	3.55	0.96	0.90	19	1.73	0.64	0.59
7	21	1.83	0.69	0.60	16	1.22	0.49	0.44
8	35	2.88	0.89	0.81	25	1.92	0.69	0.60

表 3 不同植物根际古菌群落的相似性

Table 3 Similarity of archaeal communities in different rhizosphere soils

样品 Sample	1	2	3	4	5	6	7
<i>Rsa</i> I							
2	0.12						
3	0.04	0.19					
4	0.04	0.12	0.08				
5	0.13	0.17	0.04	0.14			
6	0.16	0.13	0.11	0.19	0.11		
7	0.11	0.22	0.11	0.12	0.00	0.18	
8	0.13	0.13	0.10	0.10	0.33	0.14	0.32
<i>Hha</i> I							
2	0.24						
3	0.21	0.26					
4	0.11	0.06	0.08				
5	0.17	0.09	0.14	0.57			
6	0.11	0.35	0.29	0.05	0.13		
7	0.12	0.13	0.13	0.11	0.09	0.06	
8	0.19	0.15	0.18	0.62	0.67	0.09	0.20

2.3.3 根际土壤古菌群落的优势类群组成

参考 Zhang^[16]等人的方法,采用获 T-RFs 数目较多的 *Rsa* I 酶切结果,将相对峰面积大于 3% 的 T-RFs 作为优势类群。8 种植物根际土壤古菌优势类群数量差异较大(图 2),鼠掌老鹳草多达 18 种,直穗柳次为 9 种,西北绢蒿少为 2 种。81 bp 的 T-RF(可能是泉古菌门(*crenarchaeota*))在 8 种植物根际土壤中均出现,所占比例有差异,在皱纹柳根际最高占 45.22%,鼠掌老鹳草根际最小,为 10.38%;83 bp 的 T-RF(可能是广古菌门(*Euryarchaeota*)的盐杆菌属(*Halobacterium*)或 *Thaumarchaeota* 的餐古菌属(*Cenarchaeum*))存在于 5 种植物根际土壤中,蓬子菜根际所占比例最大,为 68.63%,其余片段的 T-RFs 多为某些植物所特有。

在 MiCA 数据库比对 2 种酶切的 T-RFs,确定其可能代表的种属,结果差异较大。以 *Hha* I 酶切(图 3),主要古菌类群为泉古菌门(45.45%)和广古菌门(27.27%);以 *Rsa* I 酶切(图 3),未匹配的 T-RFs 所占比例较大(71.11%),其次为泉古菌门(15.56%)、广古菌门(8.89%)及纳古菌门(2.22%)。

2.3.4 根际古菌优势类群与土壤化学性质的典范对应分析

将 *Hha* I 酶切的 T-RFs 与土壤化学性质进行 CCA 分析,根据矢量线段的长短,表明土壤有机质、速效磷及总氮对优势类群的分布影响最大(图 4a),它们与第一轴的相关系数分别为 0.94 ($P < 0.001$), 0.81 ($P <$

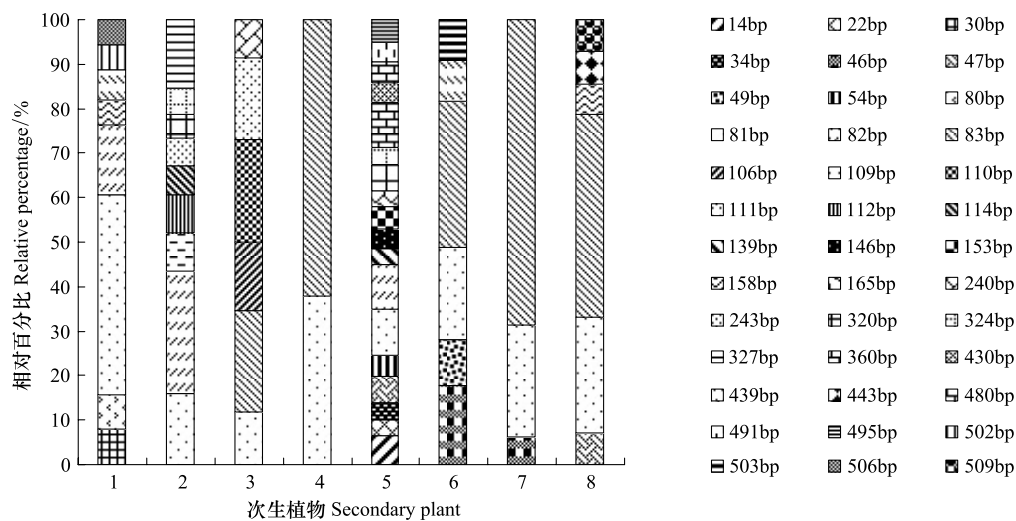


图2 古菌群落的优势类群组成

Fig. 2 Composition of dominant group of archaeal communities

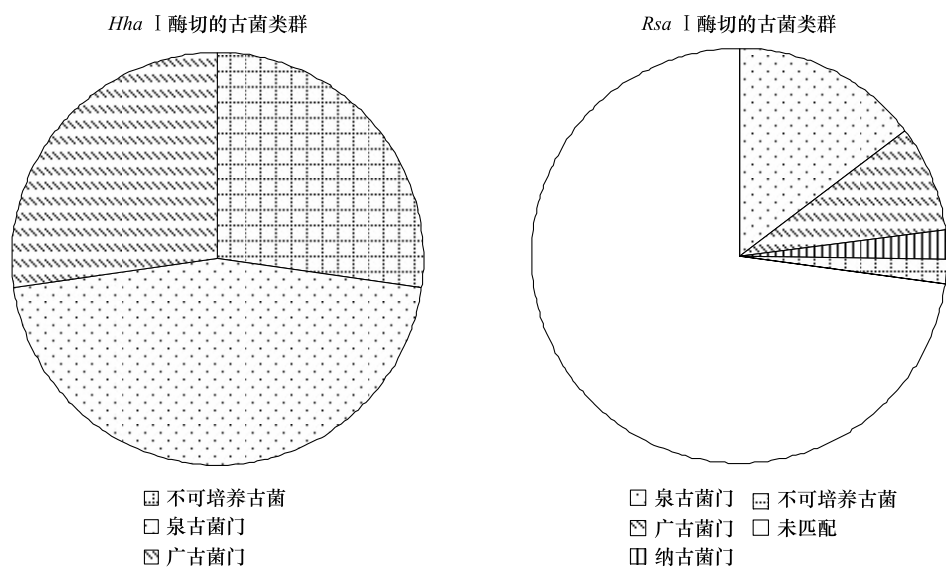


图3 基于 MiCA 检索可能的古菌类群

Fig. 3 Possible archaeal groups searched from MiCA

0.01), 0.76 ($P < 0.05$)。在速效磷含量较高的土壤中,分布着 48 bp 及 112 bp 等 TRFs, 较低处为 233 bp、587 bp 等 TRFs; pH 较高处, 为 29 bp、435 bp 等 TRFs; 585 bp 的 TRF 受 6 种土壤化学性质影响最小。

Rsa I 酶切的 T-RFs 与土壤化学性质的 CCA 分析表明, 土壤有机质、pH 值对优势类群的分布影响最大 (图 4b), 土壤有机质与第一轴的相关系数为 0.74 ($P < 0.05$), pH 值与第二轴的相关系数为 -0.50 ($P > 0.05$)。在土壤有机质、速效氮含量及 pH 值较高处, 分别有 83 bp 及 46 bp、112 bp 及 320 bp、49 bp 及 503 bp 等 TRFs 存在; 30 bp 及 204 bp 等 TRFs 受 6 种土壤化学性质影响最小。

2.3.5 古菌群落多样性指数与土壤化学性质的相关分析

在 *Hha* I 酶切结果中 (表 4), 土壤速效磷含量与古菌群落关系最为密切, 与物种丰度、多样性指数、优势度和均匀度均呈显著相关性 ($P < 0.05$), 此外群落均匀度指数 *E* 还与土壤总氮含量呈显著相关性 ($P < 0.05$)。在 *Rsa* I 酶切结果中, 古菌群落各多样性指数与土壤化学性质无相关性 ($P > 0.05$), 此处未列出。

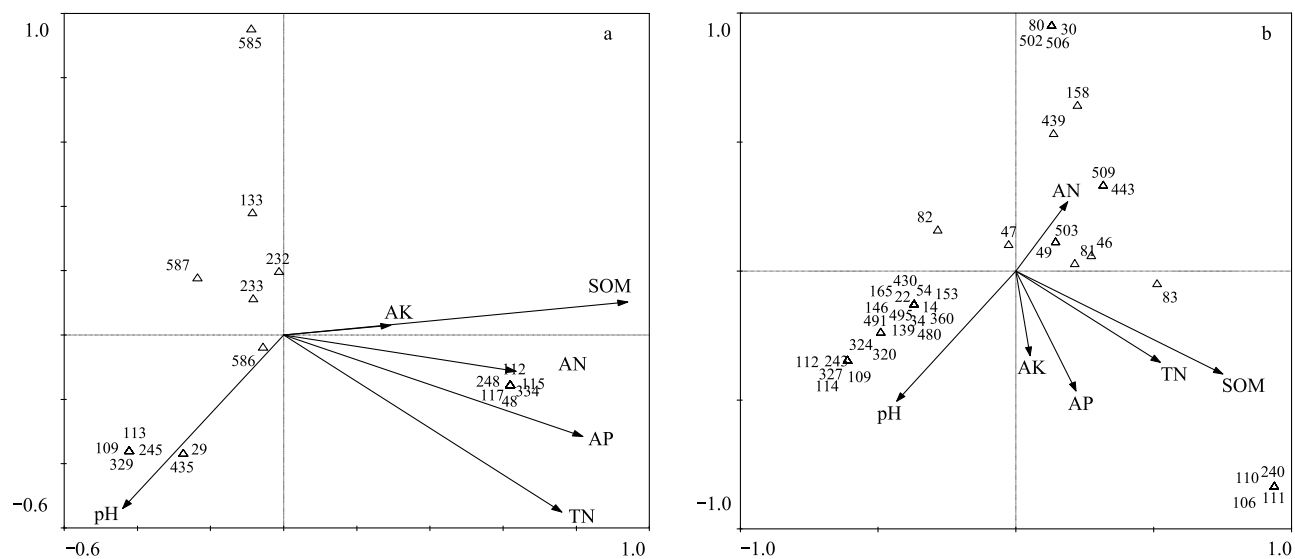


图4 基于 T-RFLP 结果的 CCA 分析图

Fig. 4 CCA plots based on T-RFLP results

a: *Hha* I 酶切的优势类群与环境因子排序, b: *Rsa* I 酶切的优势类群与环境因子排序; △代表优势类群, 箭头代表环境因子, pH: pH, SOM: 有机质, TN: 全 N, AN: 速效 N, AP: 速效 P, AK: 速效 K

表 4 古菌群落多样性指数与土壤化学性质的相关分析

Table 4 The correlation coefficients of archaeal diversity indices and soil chemical properties

项目 Items	丰度 S	Shannon-Weiner 指数 H	Simpson 指数 D	物种均度 E	pH	有机质 SOM	全氮 Total N	速效氮 Available N	速效磷 Available P
Shannon-Weiner 指数 H	0.97 **								
Simpson 指数 D	0.96 **	0.99 **							
物种均度 E	0.94 **	0.99 **	0.99 **						
pH	0.02	0.11	0.14	0.15					
有机质 SOM	0.32	0.38	0.35	0.38	-0.25				
全氮 Total N	0.59	0.69	0.67	0.71 *	-0.05	0.67			
速效氮 Available N	-0.10	-0.07	-0.11	-0.06	-0.48	0.33	0.54		
速效磷 Available P	0.74 *	0.81 *	0.80 *	0.82 *	-0.20	0.48	0.58	0.14	
速效钾 Available K	-0.28	-0.20	-0.24	-0.18	0.39	0.22	-0.20	-0.17	0.00

** . 表示相关显著水平为 0.01 (双尾检测), * . 表示相关显著水平为 0.05 (双尾检测)

3 讨论

3.1 T-RFLP 技术可行性分析

T-RFLP 技术因其相对简便、高通量、能与在线数据库结合分析微生物种类等特点已广泛应用于评估多种生境中微生物群落结构及动态变化的分析^[19]。由于在一个特定的引物-酶组合下,一个 T-RF 可能代表不止一种细菌种群,为减少此类误差常采用多酶切处理,但引物一定时,选用不同内切酶产生的 T-RFs 数目有显著差别,相应的分析结果也存在一定差异^[20],因此,一些学者选取产生最多 T-RFs 数目的酶切结果作为后续分析的数据,而其它酶切作为辅助参考,进行综合判断^[16,21]。本文选取 *Rsa* I 和 *Hha* I 两种常用限制性酶,产生结果存在一定差异,但二者的共同趋势都显示,不同植物根际的古菌群落差异大,古菌优势种群以泉古菌门和广古菌门为主,其分布受土壤有机质影响最大,说明该技术能基本准确的分析研究样地的古菌群落结构及其变化。在 *Rsa* I 的酶切结果中,与数据库未匹配的 T-RFs 占有很大比例(71.11%),这些未匹配的 T-RFs 可能是由于 RDP 数据库一些 16S rRNA 基因序列不完整,或信息不完善等本身的缺陷造成,但也不排除该地区有

存在大量古菌新种的可能^[22]。

3.2 植被恢复对土壤古菌群落分布的影响

本文在植物根际土壤扩增出古菌 16S rDNA 片段,而同土层裸地土壤并未检出。Jackson 等人在森林泥炭土的表层土壤(0—10 cm)未能检测到古菌^[23]。这说明在古菌分布少或无的表层土壤,植物扩大了古菌的分布范围,提高其物种丰度。本研究中,次生植物显著改善了原本退化严重的土壤肥力,促进土壤发育^[24];加之土壤中根系和通气状况的改善,使微生物区系有较大差异,如在柠条根际土壤中古菌数量较多^[25],氨氧化古菌在水稻根际比非根际丰富^[26]。另一方面,富蕴断裂带地处阿尔泰戈壁沙漠北部,受干旱气候影响^[27],阳光直射造成的热压力和干燥能降低土壤养分的利用,裸地上出现的植被对地表温度和干燥有一定的缓冲作用,有利于土壤微生物的生长^[28]。

3.3 植被恢复对土壤古菌群落结构的影响

塌陷区不同植物根际间古菌群落结构有很大差异。许多研究表明植物类型是决定土壤微生物群落结构的主要因子:一方面从植物物种角度,因植物根系分泌物、形态、及生理不同,其根围微生境会有所差异^[29]。苗果园等人发现,即使在相同土壤条件种植的不同植物,其根际微生物种群和数量也有显著差异^[30]。Haichar 等人用稳定同位素标记方法证明,培育在相同条件下 4 种植物的类型及其根系分泌物能显著影响根际细菌群落的组成^[31]。另一方面从生理生态学角度,植物演替至灌木阶段,处于草本、灌木丛生状态,在共存物种间植物会产生一定生态分化以适应环境^[32],如受体积、光照、空气等影响,演替早、中期草本植物和灌木在光合速率、呼吸速率、水分和养分利用效率、生长速度等方面有明显的差异^[33]。

本文根际土壤古菌优势类群为泉古菌门,Nicol 等人对草地生态系统的研究,也有类似结果^[34]。Simon 等人在西红柿根系富集到泉古菌,并认为其可能参与根系生物代谢^[35]。泉古菌在地球环境中大量存在,在土壤微生物总量比例最高达 12%^[36]。泉古菌门中的氨氧化古菌一直是全球氮循环微生物机理研究的前沿领域之一,研究表明氨氧化古菌是海洋生态系统氨氧化过程的重要驱动者,但在土壤中,细菌是氨氧化过程的主要驱动者,古菌的生态学功能还需进一步探索^[37]。

3.4 土壤化学性质与古菌群落的关系

本文古菌群落的分布与多项指数与土壤有机质、速效磷、总氮含量呈显著正相关,这很可能是因为植物恢复产生了一定的凋落物,成为土壤有机质的主要来源,为微生物提供物质和能量^[38]。研究表明随植物演替发展,在贫瘠土壤中氮素含量因微生物矿化作用越来越迅速,植物充分形成生物量而积累增加^[33]。塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地土壤中,土壤速效磷、速效氮、全氮对微生物的分布有较大作用^[39];百色与胜利油田土壤总氮、速效氮、速效磷对微生物群落代谢活性及多样性呈正相关,并有一定的促进作用^[40];奥地利 Rotmoosferner 冰川前缘土壤古菌群落呈现出清晰的演替现象,泉古菌 Group1.1b 出现在所有演替阶段,而 Group1.1c 只存在于演替后期成熟土壤,土壤有机碳、总氮及速效磷的含量随土壤的发育逐渐升高,这些成熟的土壤因素可能是 Group1.1c 泉古菌定殖所必需^[41]。

4 展望

植被恢复一直被视为震后生态系统重建的核心,退化生态系统植被恢复的首要任务是选择合适的建群植物种类,以保证系统能迅速地朝良性方向发展^[42]。本文研究表明,东方旱麦草在提高根际土壤古菌多样性及改善土壤养分方面均发挥了显著作用,为灾后重建工作提供了科学依据和参考。植物-土壤-微生物是陆地生态系统的重要组成部分,三者间的相互作用是生态系统地上、地下部分结合的重要纽带,本文初步调查了新疆地震断裂带次生植物根际古菌群落结构和土壤化学性质,发现其间存在一定联系,但古菌群落在研究样地的生态功能、是否与其它环境因子相关及如何推动植物演替的发展有待进一步探索。

References:

- [1] Liu G Q, Jiao X. Ecological issues caused by Wenchuan earthquake and countermeasures. Soil and Water Conservation in China, 2008, (11): 11-13.

- [2] Pan J X, Zhang Y. Selection and application of plants in ecosystems reconstruction after the earthquake. *Journal of Institute of Disaster-Prevention Science and Technology*, 2009, 11(3): 9-13.
- [3] Shi J B, Ding G Y. Preface // Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region eds. *The Fuyun Seismic Fault Zone*. Beijing: Seismological Press, 1985: 1-5.
- [4] Peng S L. Restoration ecology and vegetation reconstruction. *Ecologic Science*, 1996, 15(2): 26-31.
- [5] Artz R R E, Chapman S J, Siegenthaler A, Mitchell E A D E, Buttler A, Bortoluzzi E, Gilbert D, Ylipetays M, Vasander H, Francez A J. Functional microbial diversity in regenerating cutover peatlands responds to vegetation succession. *Journal of Applied Ecology*, 2008, 45(6): 1799-1809.
- [6] He X Y, Wang K L, Zhang W, Chen Z H, Zhu Y G, Chen H S. Positive correlation between soil bacterial metabolic and plant species diversity and bacterial and fungal diversity in a vegetation succession on Karst. *Plant and Soil*, 2008, 307(1/2): 123-134.
- [7] Zhang S Y, Yu M Q, Zhu L, Qin X L. A study on microbial biomass C, N characteristics in different rehabilitating forests on degraded red soil. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis: Natural Sciences Edition*, 2010, 32(1): 101-107.
- [8] Clay K, Holah J. Fungal endophyte symbiosis and plant diversity in successional fields. *Science*, 1999, 285(5434): 1742-1744.
- [9] Yang H L, Liu D M, Sun H. Ecological impacts of earthquake on local ecosystem and its restoration. *Sichuan Environment*, 2009, 28(4): 97-101.
- [10] He J Z, Shen J P, Zhang L M. Advance in the research of soil non-thermophilic Crenarchaeota. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 5047-5055.
- [11] He S H. 1716—1980 seismic data of Xinjiang // Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, eds. *Compilation of Earthquake Materials of Xinjiang Uygur Autonomous Region*. Beijing: Seismological Press, 1985: 5-132.
- [12] Nicol G W, Glover L A, Prosser J I. Spatial analysis of archaeal community structure in grassland soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(12): 7420-7429.
- [13] Xi F, Fu L Y, Wang G Z, Zheng T L. A simple method for removing humic acids from marine sediment samples prior to DNA extraction. *Chinese High Technology Letters*, 2006, 16(5): 539-544.
- [14] Zhou J, Bruns M A, Tiedje J M. DNA recovery from soils of diverse composition. *Applied and Environmental Microbiology*, 1996, 62(2): 316-322.
- [15] Zhang R F, Cao H, Cui Z L, Li S P, Fan B. Extraction and purification of soil microbial total DNA. *Acta Microbiologica Sinica*, 2003, 43(2): 276-282.
- [16] Zhang R, Thiagarajan V, Qian P Y. Evaluation of terminal-restriction fragment length polymorphism analysis in contrasting marine environments. *FEMS Microbiology Ecology*, 2008, 65(1): 169-178.
- [17] Li H. Progress of T-RFLP analysis for microbial community. *Journal of Anhui Normal University: Natural Science*, 2006, 29(6): 582-585.
- [18] Eiler A, Bertilsson S. Composition of freshwater bacterial communities associated with cyanobacterial blooms in four Swedish lakes. *Environmental Microbiology*, 2004, 6(12): 1228-1243.
- [19] Schütte U M E, Abdo Z, Bent S J, Shyu C, Williams C J, Pierson J D, Forney L J. Advances in the use of terminal restriction fragment length polymorphism (T-RFLP) analysis of 16S rRNA genes to characterize microbial communities. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2008, 80(3): 365-380.
- [20] Luna G M, Stumm K, Pusceddu A, Danovaro R. Archaeal diversity in deep-sea sediments estimated by means of different terminal-restriction fragment length polymorphisms (T-RFLP) protocols. *Current Microbiology*, 2009, 59(3): 356-361.
- [21] Székely A J, Sipos R, Berta B, Vajna B, Hajdú C, Márialigeti K. DGGE and T-RFLP Analysis of Bacterial Succession during Mushroom Compost Production and Sequence-aided T-RFLP Profile of Mature Compost. *Microbial Ecology*, 2009, 57(3): 522 - 533.
- [22] Yuan S Q, Xue Y F, Gao P, Wang W D, Ma Y H. Microbial diversity in Shengli petroleum reservoirs analyzed by T-RFLP. *Acta Microbiologica Sinica*, 2007, 47(2): 290-294.
- [23] Jackson C R, Liew K C, Yule C M. Structural and functional changes with depth in microbial communities in a tropical malaysian peat swamp forest. *Microbial Ecology*, 2009, 57(3): 402-412.
- [24] Huang C M, Gong Z T. Progress in quantitative study on soil genesis and development. *Soils*, 2000, 32(3): 145-150, 166-166.
- [25] Zhang W, Hu Y G, Huang G H, Gao H W. Soil microbial diversity of artificial peashrub plantation on North Loess Plateau of China. *Acta Microbiologica Sinica*, 2007, 47(5): 751-756.
- [26] Chen X P, Zhu Y G, Xia Y, Shen J P, He J Z. Ammonia-oxidizing archaea: important players in paddy rhizosphere soil. *Environmental Microbiology*, 2008, 10(8): 1978-1987.
- [27] Lin A M, Lin S J. Tree damage and surface displacement; the 1931 M 8.0 Fuyun earthquake. *The Journal of Geology*, 1998, 106(6): 751-757.
- [28] Tscherko D, Hammesfahr U, Zeltner G, Kandeler E, Böcker R. Plant succession and rhizosphere microbial communities in a recently deglaciated alpine terrain. *Basic and Applied Ecology*, 2005, 6(4): 367-383.
- [29] Wu L Q, Ma K, Li Q, Ke X B, Lu Y H. Composition of archaeal community in a paddy field as affected by rice cultivar and N fertilizer. *Microbial Ecology*, 2009, 58(4): 819-826.
- [30] Miao G Y, Jia Z H, Yang Z P, Zhang Y Q. Quantity difference of rhizosphere microbe of different crops. *Journal of Shanxi Agricultural University*:

Natural Science Edition, 2004, 24(2): 93-96.

- [31] Haichar F Z, Marol C, Berge O, Rangel-Castro J I, Prosser J I, Balesdent J, Heulin T, Achouak W. Plant host habitat and root exudates shape soil bacterial community structure. *The ISME Journal*, 2008, 2(12): 1221-1230.
- [32] Ackerly D. Functional strategies of chaparral shrubs in relation to seasonal water deficit and disturbance. *Ecological Monographs*, 2004, 74(1): 25-44.
- [33] Li Q K, Ma K P. Advances in plant succession ecophysiology. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26(Z): 9-19.
- [34] Nicol G W, Glover L A, Prosser J I. Spatial analysis of archaeal community structure in grassland soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(12): 7420-7429.
- [35] Simon H M, Dodsworth J A, Goodman R M. Crenarchaeota colonize terrestrial plant roots. *Environmental Microbiology*, 2000, 2(5): 495-505.
- [36] Roesch L F W, Fulthorpe R R, Riva A, Casella G, Hadwin A K M, Kent A D, Daroub S H, Camargo F A O, Farmerie W G, Triplett E W. Pyrosequencing enumerates and contrasts soil microbial diversity. *Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology*, 2007, 1(4): 283-290.
- [37] Ji Z J, Weng J H, Lin X G, Conrad R. Microbial ecology of archaeal ammonia oxidation—A review. *Acta Microbiologica Sinica*, 2010, 50(4): 431-437.
- [38] Cao F Q, Liu Z H, Liu M, Cui J F. Research progress on the forest litterfall and its decomposition process. *Guangxi Agricultural Sciences*, 2010, 41(7): 693-697.
- [39] Zhou Z B, Li P J. Ecological distribution of soil microorganism in artificial greenbelt in hinterland of Taklimakan Desert and their relations with soil factor. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(8): 1246-1250.
- [40] Zhang Y N, Liang Y T, Li G H. Studies on relationship between carbon metabolism of soil microbial community and soil physicochemical factors. *China Environmental Science*, 2010, 30(12): 1639-1644.
- [41] Nicol G W, Tschirko D, Embley T M, Prosser J I. Primary succession of soil *Crenarchaeota* across a receding glacier foreland. *Environmental Microbiology*, 2005, 7(3): 337-347.
- [42] Zhao P. Advances in plant ecophysiological studies on re-vegetation of degraded ecosystems. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 2031-2036.

参考文献:

- [1] 刘广全, 焦醒. 汶川地震引发的生态问题及对策. *中国水土保持*, 2008, (11): 11-13.
- [2] 潘静娴, 张莹. 地震灾后生态系统重建中的植被恢复初探. *防灾科技学院学报*, 2009, 11(3): 9-13.
- [3] 石鉴帮, 丁国瑜. 前言 // 新疆维吾尔自治区地震局. 富蕴地震断裂带. 北京: 地震出版社, 1985: 1-5.
- [4] 彭少麟. 恢复生态学与植被重建. *生态科学*, 1996, 15(2): 26-31.
- [7] 张水印, 余明泉, 朱玲, 秦晓蕾. 退化红壤区不同重建模式森林土壤微生物碳氮特征研究. *江西农业大学学报*, 2010, 32(1): 101-107.
- [9] 杨红露, 刘冬梅, 孙辉. 地震的生态破坏及其恢复重建研究进展. *四川环境*, 2009, 28(4): 97-101.
- [10] 贺纪正, 沈菊培, 张丽梅. 土壤中温泉古菌研究进展. *生态学报*, 2009, 29(9): 5047-5055.
- [11] 新疆维吾尔自治区地震局. 1716—1980 年新疆地区地震资料 // 新疆维吾尔自治区地震局. 新疆维吾尔自治区地震资料汇编. 北京: 地震出版社, 1985: 5-132.
- [13] 席峰, 傅莲英, 王桂忠, 郑天凌. 海洋沉积物 DNA 提取前的简易脱腐方法研究. *高技术通讯*, 2006, 16(5): 539-544.
- [15] 张瑞福, 曹慧, 崔中利, 李顺鹏, 樊奔. 土壤微生物总 DNA 的提取和纯化. *微生物学报*, 2003, 43(2): 276-282.
- [17] 李红. 末端限制性酶切片长度多态性分析技术进展. *安徽师范大学学报: 自然科学版*, 2006, 29(6): 582-585.
- [22] 袁三青, 薛燕芬, 高鹏, 汪卫东, 马延和. T-RFLP 技术分析油藏微生物多样性. *微生物学报*, 2007, 47(2): 290-294.
- [24] 黄成敏, 龚子同. 土壤发生和发育过程定量研究进展. *土壤*, 2000, 32(3): 145-150, 166-166.
- [25] 张薇, 胡跃高, 黄国和, 高洪文. 西北黄土高原柠条种植区土壤微生物多样性分析. *微生物学报*, 2007, 47(5): 751-756.
- [30] 苗果园, 贾志红, 杨珍平, 张永清. 不同作物根际微生物差异的研究. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 2004, 24(2): 93-96.
- [33] 李庆康, 马克平. 植物群落演替过程中植物生理生态学特性及其主要环境因子的变化. *植物生态学报*, 2002, 26(增刊): 9-19.
- [38] 曹富强, 刘朝晖, 刘敏, 崔俊峰. 森林凋落物及其分解过程的研究进展. *广西农业科学*, 2010, 41(7): 693-697.
- [39] 周智彬, 李培军. 塔克拉玛干沙漠腹地人工绿地土壤中微生物的生态分布及其与土壤因子间的关系. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1246-1250.
- [42] 赵平. 退化生态系统植被恢复的生理生态学研究进展. *应用生态学报*, 2003, 14(11): 2031-2036.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.2 January ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Spatio-temporal heterogeneity of water and plant adaptation mechanisms in karst regions; a review CHEN Hongsong, NIE Yunpeng, WANG Kelin (317)
- Impacts of mangrove vegetation on macro-benthic faunal communities CHEN Guangcheng, YU Dan, YE Yong, et al (327)
- Advance in research on the occurrence and transformation of arsenic in the freshwater lake ecosystem ZHANG Nan, WEI Chaoyang, YANG Linsheng (337)
- Application of nano-scale secondary ion mass spectrometry to microbial ecology study HU Hangwei, ZHANG Limei, HE Jizheng (348)
- Carbon cycle of urban system; characteristics, mechanism and theoretical framework ZHAO Rongqin, HUANG Xianjin (358)
- Research and compilation of urban greenhouse gas emission inventory LI Qing, TANG Lina, SHI Longyu (367)

Autecology & Fundamentals

- Seed dispersal and seedling recruitment of *Ulmus pumila* woodland in the Keerqin Sandy Land, China YANG Yunfei, BAI Yunpeng, LI Jiandong (374)
- Influence of environmental factors on seed germination of *Bombax malabaricum* DC. ZHENG Yanling, MA Huancheng, Scheller Robert, et al (382)
- Carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometric characteristics during the decomposition of *Spartina alterniflora* and *Cyperus malaccensis* var. *brevifolius* litters OUYANG Linmei, WANG Chun, WANG Weiqi, et al (389)
- Home range of *Teratoscincus roborowskii* (Gekkonidae): influence of sex, season, and body size LI Wenrong, SONG Yucheng, SHI Lei (395)
- Effects of the covering behavior on food consumption, growth and gonad traits of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis* LUO Shibin, CHANG Yaqing, ZHAO Chong, et al (402)
- Biological response of the rice leafhopper *Cnaphalocrocis medinalis* (Güenée) reared on rice and maize seedling to temperature LIAO Huaijian, HUANG Jianrong, FANG Yuansong, et al (409)

Population, Community and Ecosystem

- Composition and stability of organic carbon in the top soil under different forest types in subtropical China SHANG Suyun, JIANG Peikun, SONG Zhaoliang, et al (416)
- The community characteristics of different types of grassland under grazing prohibition condition ZHANG Pengli, CHEN Jun, CUI Shujuan, et al (425)
- Spatial pattern and competition relationship of *Stellera chamaejasme* and *Aneurolepidium dasystachys* population in degraded alpine grassland REN Heng, ZHAO Chengzhang (435)
- SOC decomposition of four typical broad-leaved Korean pine communities in Xiaoxing' an Mountain SONG Yuan, ZHAO Xizhu, MAO Zijun, et al (443)
- The influence of vegetation restoration on soil archaeal communities in Fuyun earthquake fault zone of Xinjiang LIN Qing, ZENG Jun, ZHANG Tao, et al (454)
- Effects of fertilization regimes on soil faunal communities in cropland of purple soil, China ZHU Xinyu, DONG Zhixin, KUANG Fuhong, et al (464)
- Woody plant leaf litter consumption by the woodlouse *Porcellio scaber* with a choice test LIU Yan, LIAO Yuncheng (475)
- The bacterial community of coastal sediments influenced by cage culture in Xiangshan Bay, Zhejiang, China QIU Qiongfeng, ZHANG Demin, YE Xiansen, et al (483)
- A study of meiofauna in the COMRA's contracted area during the summer of 2005 WANG Xiaogu, ZHOU Yadong, ZHANG Dongsheng, et al (492)
- Hydrologic regime of interception for typical forest ecosystem at subalpine of Western Sichuan, China SUN Xiangyang, WANG Genxu, WU Yong, et al (501)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Sensitivity and vulnerability of China's rice production to observed climate change XIONG Wei, YANG Jie, WU Wenbin, et al (509)

Characteristics of temperature and precipitation in Northeastern China from 1961 to 2005	HE Wei, BU Rencang, XIONG Zaiping, et al (519)
Combined effects of elevated O ₃ and reduced solar irradiance on growth and yield of field-grown winter wheat	ZHENG Youfei, HU Huifang, WU Rongjun, et al (532)
Resource and Industrial Ecology	
The study of vegetation biomass inversion based on the HJ satellite data in Yellow River wetland	GAO Mingliang, ZHAO Wenji, GONG Zhaoning, et al (542)
Temporal and spatial variability of soil available nutrients in arable Lands of Heyang County in South Loess Plateau	CHEN Tao, CHANG Qingrui, LIU Jing, et al (554)
Decomposition characteristics of wheat straw and effects on soil biological properties and nutrient status under different rice cultivation	WU Ji, GUO Xisheng, LU Jianwei, et al (565)
Effects of nitrogen application stages on photosynthetic characteristics of summer maize in high yield conditions	LÜ Peng, ZHANG Jiwang, LIU Wei, et al (576)
Urban, Rural and Social Ecology	
The degradation threshold of water quality associated with urban landscape component	LIU Zhenhuan, LI Zhengguo, YANG Peng, et al (586)
Ecological sustainability in Chang-Zhu-Tan region; a prediction study	DAI Yanan, HE Xinguang (595)
The effect of exogenous nitric oxide on activities of antioxidant enzymes and microelements accumulation of two rice genotypes seedlings under cadmium stress	ZHU Hanyi, CHEN Yijun, LAO Jiali, et al (603)
Forms composition of inorganic carbon in sediments from Dali Lake	SUN Yuanyuan, HE Jiang, LÜ Changwei, et al (610)
Fractionation character and bioavailability of Cd, Pb, Zn and Ni combined pollution in oasis soil	WU Wenfei, NAN Zhongren, WANG Shengli, et al (619)
Effects of CA and EDTA on growth of <i>Chlorophytum comosum</i> in copper-contaminated soil	WANG Nannan, HU Shan, WU Dan, et al (631)
Research Notes	
Values of marine ecosystem services in Haizhou Bay	ZHANG Xiuying, ZHONG Taiyang, HUANG Xianjin, et al (640)
Variations of <i>Leymus chinensis</i> community, functional groups, plant species and their relationships with climate factors	TAN Liping, ZHOU Guangsheng (650)
The effect of N:P supply ratio on P uptake and utilization efficiencies in <i>Larix olgensis</i> Henry. seedlings	WEI Hongxu, XU Chengyang, MA Lüyi, et al (659)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 2 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 2 (January, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元